Créer un compte Se connecter

Article Discussion Lire Modifier le code Historique Rechercher

WIKIPÉDIA
L'encyclopédie libre

Navigation
Accueil
Portails thématiques
Article au hasard
Contact

Contribuer
Débuter sur Wikipédia
Aide
Communauté
Modifications récentes
Faire un don

Imprimer / exporter
Créer un livre
Télécharger comme PDF
Version imprimable

Outils
Pages liées
Suivi des pages liées
Importer un fichier
Pages spéciales
Adresse de cette version
Information sur la page
Élément Wikidata
Citer cette page

Autres langues
العربية
Български
Bosanski
Català
Čeština
Dansk
Deutsch
Ελληνικά
English
Español
Euskara
فارسی
Suomi
Galego
עברית
हिन्दी
Hrvatski
Magyar
Bahasa Indonesia
Italiano
日本語
한국어
Lëtzebuergesch
Limburgs
Lietuvių
Latviešu
മലയാളം
Nederlands
Norsk nynorsk
Norsk bokmål
Polski
Português
Română

Rosetta (sonde spatiale)

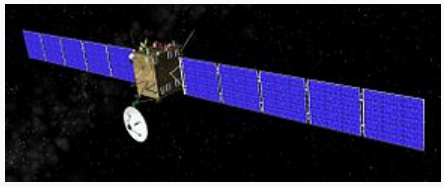
Pour les articles homonymes, voir Rosetta.

Rosetta est une mission spatiale de l'Agence spatiale européenne (ESA) dont l'objectif principal est de recueillir des données sur la composition du noyau de la comète Tchourioumov-Guerassimenko et sur son comportement à l'approche du Soleil. La sonde spatiale, d'une masse de trois tonnes au lancement, doit se placer en orbite autour de la comète puis, après une période d'observation de plusieurs mois, envoyer *Philae*, un petit atterrisseur de 100 kg, se poser sur sa surface pour analyser *in situ* la composition du sol. *Rosetta* constitue un projet phare pour l'ESA qui y a investi près d'un milliard d'euros, soit plus de 30 % de son budget annuel. Le comité scientifique européen a décidé sa construction en 1993, après l'abandon d'un projet commun avec la NASA, avec l'espoir qu'elle permettrait de confirmer ou infirmer les modèles en cours sur le processus de formation du Système solaire dont les comètes constituent des témoins.

Rosetta est la sixième sonde spatiale à observer une comète à faible distance, mais elle est la première à se placer en orbite autour de l'une d'entre elles et à poser un atterrisseur sur son noyau. La mission représente à plusieurs titres un défi technique. La distance entre la Terre et la comète nécessite que la sonde soit autonome durant les phases critiques. L'atterrisseur doit pouvoir réussir à se poser sur un noyau cométaire dont la constitution et le comportement sont inconnus. Enfin la sonde doit survivre sur le plan thermique et énergétique aux grandes variations d'amplitude de l'éclairage solaire imposées par sa trajectoire.

Après un report d'un an dû à une défaillance du lanceur qui nécessite de renoncer à l'objectif initial, la comète Wirtanen, *Rosetta* est lancée par une fusée Ariane 5 G+ le 2 mars 2004. Pour se placer sur une orbite parallèle à celle de la comète, la sonde spatiale fait appel à quatre reprises à l'assistance gravitationnelle de la Terre et de Mars. Durant son périple la sonde croise à faible distance l'astéroïde *(2867) Šteins* en 2008 et *(21) Lutetia* le 10 juillet 2010 dont l'étude constitue également un objectif scientifique de la mission. Après 31 mois de mise en sommeil pour réduire l'énergie consommée durant la phase de sa trajectoire où la sonde spatiale se trouve la plus éloignée du Soleil, *Rosetta* est réactivée en janvier 2014 puis entame une série de manœuvres ayant pour objectif de se placer à proximité de la comète tout en progressant à une vitesse identique. Le 6 août 2014, plus de dix ans après son lancement, la sonde spatiale s'insère en orbite autour de Tchourioumov-Guerassimenko.

Rosetta



Représentation de la sonde *Rosetta*.

Caractéristiques	
Organisation	European Space Agency (ESA)
Domaine	Étude de comète
Masse	3 000 kg
Lancement	2 mars 2004, 7 h 17 UTC
Lanceur	Ariane 5G+
Fin de mission	prévue pour 2015
Orbite	Interplanétaire
Programme	Horizon 2000
Index NSSDC	2004-006A
Site	ESA - Rosetta

Principaux instruments	
ALICE	*Ultraviolet Imaging Spectrometer*
CONSERT	*Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission*
COSIMA	*Cometary Secondary Ion Mass Analyser*
GIADA	*Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*
MIDAS	*Micro-Imaging Dust Analysis System*
MIRO	*Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*
OSIRIS	*Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System*
ROSINA	*Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis*
RPC	*Rosetta Plasma Consortium*
RSI	*Radio Science Investigation*
VIRTIS	*Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer*

Emblème de la mission.

Sommaire

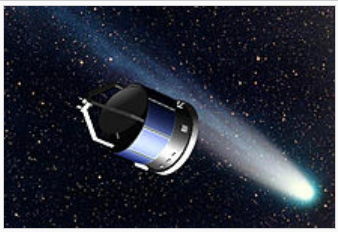
1 Historique
1.1 Les missions qui ont précédé Rosetta
1.2 Naissance et développement du projet
2 La mission Rosetta
2.1 Principales caractéristiques d'une comète
2.2 Profil de la mission
2.3 La comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko
2.4 Les astéroïdes (2867) Šteins et (21) Lutetia
2.4.1 (2867) Šteins
2.4.2 (21) Lutetia

Русский
Scots
Srpskohrvatski / српскохрватски
Simple English
Slovenčina
Српски / srpski
Svenska
தமிழ்
Українська
中文
Modifier les liens

3 La sonde
3.1 L'orbiteur
3.1.1 Système de commande d'attitude et d'orbite
3.1.2 Système de télécommunications
3.1.3 L'alimentation électrique
3.1.4 Système de régulation thermique
3.1.5 Instruments scientifiques
3.2 L'atterrisseur
3.2.1 Fonctionnement et mission
3.2.2 Instruments scientifiques
3.3 Le contrôle au sol
4 Chronologie
4.1 Lancement (2004)
4.2 Première assistance gravitationnelle de la Terre (2005)
4.3 Deuxième assistance gravitationnelle de la Terre et survol de Mars (2007)
4.4 Survol de l'astéroïde *(2867) Šteins* (2008)
4.5 Dernière assistance gravitationnelle de la Terre (2009)
4.6 Survol de l'astéroïde (21) Lutetia (2010) et mise en sommeil
4.7 Rendez-vous avec la comète (2014)
4.7.1 Réveil de la sonde spatiale (janvier-février)
4.7.2 Manœuvres de rendez-vous (mai-juillet)
4.7.3 Premiers aperçus de la comète (juin/juillet)
4.7.4 L'insertion en orbite (août/septembre)
4.8 Atterrissage et fin de mission (2014-2015)
5 Retombées scientifiques
5.1 Comprendre la genèse du Système solaire
5.2 À la recherche de l'origine de la vie
6 Réutilisation des composants développés pour Rosetta
7 Notes et références
7.1 Notes
7.2 Références
7.3 Bibliographie
8 Voir aussi
8.1 Articles connexes
9 = Liens externes

Historique [modifier le code]

Les missions qui ont précédé Rosetta [modifier le code]


Vue d'artiste de la sonde *Giotto*.

Les scientifiques considèrent que l'étude des comètes peut fournir des indices importants sur le processus de formation du Système solaire. Mais seule une mission spatiale in situ peut permettre de connaître finement la nature de ces corps célestes. La recherche sur les comètes est un des rares domaines de l'exploration spatiale où l'Agence spatiale européenne devance son homologue américaine. La première vague de missions spatiales vers les comètes a lieu lors du passage de la comète de Halley en 1986 : alors que la NASA, qui fait face à de graves problèmes financiers, doit renoncer à lancer une sonde, l'ESA construit la sonde Giotto qui va survoler Halley mais également la comète Grigg-Skjellerup (1996). La sonde européenne réalise plusieurs premières techniques dont un passage à faible distance d'un noyau d'une comète et est à l'origine de découvertes scientifiques importantes dont la présence de composés organiques dans le noyau de la comète. La comète de Halley est également étudiée à plus ou moins grande distance par d'autres sondes spatiales lancées à la même époque dont ce n'est parfois pas la mission principale : les sondes japonaises Sakigake et Suisei ainsi que les sondes soviétiques Vega 1 et Vega 2.

L'agence spatiale américaine, la NASA, lance par la suite plusieurs missions, aux caractéristiques très différentes, dédiées à l'étude des comètes :

- *Deep Space 1*, qui survole la comète Borrelly en 2001 ;
- *Stardust*, lancée en 1999, passe à proximité de la comète Wild 2 en 2004 et capture des particules situées dans la queue de celle-ci. Une capsule contenant les échantillons collectés atterrit sur Terre en 2006. La sonde effectue en 2011 un survol de la comète Tempel 1 percutée par Deep Impact pour mesurer son évolution depuis le précédent survol ;
- la sonde *CONTOUR*, lancée en 2002, devait survoler les noyaux des comètes Encke et 73P/Schwassmann-Wachmann mais fut victime d'une défaillance du moteur qui devait l'injecter sur sa trajectoire interplanétaire ;
- *Deep Impact*, lancée en 2005, largue la même année un impacteur de 350 kg sur le noyau de la comète Tempel 1 soulevant plusieurs milliers de tonnes de poussière et de glace : l'analyse par des instruments embarqués et des

télescopes spatiaux permet d'en déterminer la composition.

Naissance et développement du projet [modifier le code]

L'impacteur de la sonde Deep Impact percute le noyau de la comète Tempel 1.

Après le succès de la mission Giotto, la communauté scientifique internationale propose en 1991 le lancement d'une mission dédiée aux comètes, dont un des objectifs est de ramener sur Terre un échantillon du noyau cométaire. La NASA et l'ESA se sont donc regroupées pour donner naissance à la mission CNSR (*Comet Nucleus Sample Return*), basée sur la sonde *Cassini* et capable de ramener 10 kg d'échantillons ; l'ESA doit fournir la capsule de retour ainsi que le lanceur[1]. Au bout de deux années de travail, la NASA se retire du programme ; l'ESA, ne pouvant assurer seule une mission de cette envergure, développe alors une mission moins ambitieuse, sans retour d'échantillon[2], *Rosetta*.

La nouvelle mission, approuvée en 1994, doit déposer deux atterrisseurs sur la comète à étudier, l'un développé par l'Allemagne (atterrisseur *Roland*), l'autre produit par une association CNES/NASA (atterrisseur *Champollion*). Dix-huit mois après le début des études, la NASA abandonne de nouveau sa participation à ce projet. Un nouvel atterrisseur naît alors de l'union de 8 pays, dont l'Italie, l'Allemagne et la France, et est finalement livré à la date convenue pour son intégration sur l'orbiteur *Rosetta* en 2002. La sonde est construite dans une salle blanche selon les règles de la COSPAR pour éviter toute contamination de la comète[3].

Le nom choisi pour la mission fait référence à la pierre de Rosette qui permit à Jean-François Champollion de déchiffrer en 1822 l'égyptien hiéroglyphique. L'atterrisseur est baptisé *Philaé* (qui peut être orthographié *Philæ*) en référence à l'obélisque de Philæ qui fournit les clés permettant de compléter le déchiffrage de Champollion. En effet, les scientifiques espèrent que les informations collectées par la mission seront décisives pour combler les lacunes dans les connaissances de l'histoire du système solaire[4].

La mission Rosetta [modifier le code]

L'objectif principal de la mission est l'étude de la comète Tchouryoumov-Guerasimenko. Sa trajectoire vers la comète l'a amené à proximité de l'astéroïde 2867 Šteins en 2008 et, en 2010, autour de (21) Lutetia, astéroïdes photographiés et étudiés au passage.

Principales caractéristiques d'une comète [modifier le code]

Article détaillé : comète.

On distingue clairement sur cette photo de Hale-Bopp les deux queues qui caractérisent une comète à l'approche du Soleil.

Une comète est un corps céleste de petite taille (généralement moins de 10 km) composé en grande partie de glace d'eau qui parcourt une orbite elliptique au cours de laquelle il s'approche du Soleil le contourne avant de s'éloigner vers l'extérieur du Système solaire. À l'approche du Soleil, la comète se transforme : la glace située à sa surface, portée à plusieurs centaines de degrés par l'énergie solaire, se sublime à un rythme qui peut être de plusieurs tonnes par seconde : c'est le phénomène du dégazage observé par la sonde Giotto. Un nuage de gaz et de poussière d'un diamètre qui atteint plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de rayon, la chevelure ou coma, se forme autour du corps de la comète appelé noyau. Les particules solides poussées par la pression de radiation forment une longue traîne blanchâtre légèrement incurvée qui s'oriente à l'opposé du Soleil et peut atteindre une longueur de plusieurs millions de kilomètres. Une deuxième queue de couleur bleutée, encore plus longue, constituée de particules ionisées poussées par le vent solaire s'oriente à l'opposé du Soleil. Pour les comètes les plus actives, ces excroissances, éclairées par le Soleil, deviennent visibles à l'œil nu depuis la Terre. Tous ces phénomènes disparaissent lorsque la comète s'éloigne à nouveau du Soleil[5].

La trajectoire des comètes est très variable. Certaines, en provenance de l'orbite de Jupiter, bouclent en quelques années leur orbite qui est située dans l'écliptique, tout comme les planètes. D'autres en provenance du nuage d'Oort ont une période qui peut atteindre plusieurs millions d'années et peuvent circuler sur un autre plan que l'écliptique. Enfin une fraction importante des comètes ont une orbite parabolique ou hyperbolique : elles effectuent un passage unique près du Soleil avant de quitter définitivement le Système solaire.

Profil de la mission [modifier le code]

Contrairement aux missions qui l'ont précédé, Rosetta doit se placer en orbite autour de la comète visée pour l'étudier sur une longue durée. Pour y parvenir la sonde doit synchroniser son vecteur vitesse sur celui de ce corps céleste. Les comètes circulent à grande vitesse et cet objectif est difficile à atteindre si on analyse les missions qui ont précédé Rosetta : la vitesse relative de la sonde européenne Giotto par rapport à la comète de Halley était de

68 km/s au moment de son rendez-vous[6] tandis que celle de Deep Impact était de 28,6 km/s par rapport à la comète Tempel 1[7]. Aussi, même le recours aux lanceurs les plus puissants ne permet pas un rendez-vous direct entre la sonde et la comète : Rosetta doit utiliser à quatre reprises l'assistance gravitationnelle des planètes pour parvenir à faire coïncider sa trajectoire et sa vitesse avec celles de la comète et sacrifier près de la moitié de sa masse constituée de carburant pour donner un dernier coup de frein durant l'approche finale.

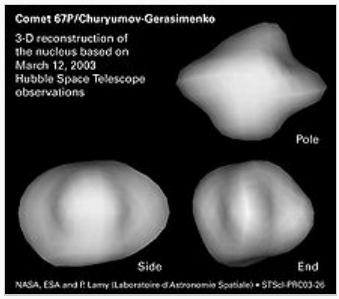
Après avoir étudié les caractéristiques du noyau, Rosetta doit se placer en orbite autour de celui-ci. Puis la sonde posera un atterrisseur sur le sol de la comète chargé de compléter les informations collectées à distance. Les responsables de la mission ont soigneusement choisi le moment du rendez-vous entre la sonde et la comète : la comète est alors suffisamment éloignée du Soleil et ne dégaze pas ce qui doit faciliter l'approche et l'atterrissage. Au cours de l'année qui va suivre le rendez-vous, la comète va s'approcher puis passer près du Soleil : Rosetta pourra ainsi assister au réveil de la comète au fur et à mesure de l'échauffement de sa surface et analyser grâce à ses instruments le processus et les matériaux éjectés. Le plan de vol nominal prévoit que la mission s'achève lorsque la comète commencera à s'éloigner à nouveau du Soleil.

La mission de Rosetta est d'étudier à l'aide des 21 instruments scientifiques embarqués sur l'atterrisseur et l'orbiteur, le lien qui existe entre les comètes et la matière interstellaire et le rôle joué par les comètes dans la formation du Système solaire. Les mesures effectuées par la sonde lorsqu'elle aura atteint la comète portent sur[8] :

- les principales caractéristiques du noyau, son comportement dynamique, la composition et la morphologie de sa surface ;
- la composition chimique, minéralogique et isotopique des matériaux volatils et solides du noyau ;
- les caractéristiques physiques et les interactions entre les matériaux volatils et solides du noyau ;
- le déroulement de l'activité de la comète (dégazage) et les processus à la surface et dans la chevelure (interactions entre la poussière et les gaz).

Au cours de son périple Rosetta doit traverser la ceinture d'astéroïdes et s'approcher d'astéroïdes dont l'étude constitue un objectif secondaire de la mission. Il est prévu que les instruments de la sonde recueillent des caractéristiques générales dont le comportement dynamique, la morphologie de la surface et sa composition[8].

La comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko [modifier le code]



Reconstruction tridimensionnelle du noyau de Tchourioumov-Guérassimenko grâce à des observations effectuées par le télescope spatial *Hubble*.

La comète Tchourioumov-Guérassimenko a été choisie comme cible de la mission après le report du lancement d'un an parce que ses caractéristiques (orbite, période, activité) permettaient d'effectuer un rendez-vous et d'atteindre les objectifs scientifiques fixés. Tchourioumov-Guérassimenko a été découverte en 1969 par l'astronome Klim Ivanovitch Tchourioumov sur une photo de la comète 32P/Comas Solá prise par Svetlana Ivanovna Guérassimenko. Klim se rendit compte que l'objet photographié correspondait en fait à une nouvelle comète qui au moment de la prise de vue était située à environ 2° de la comète visée. La comète a une histoire assez particulière car son orbite a été fortement modifiée à deux reprises au cours des 200 dernières années : jusqu'en 1840 elle ne s'approchait jamais à moins de 4 unités astronomiques (UA) soit 600 millions de kilomètres du Soleil et restait donc invisible depuis la Terre. Cette année-là, un passage à faible distance de Jupiter modifia son orbite et son périhélie chuta à 450 millions de kilomètres. En 1959, un nouveau passage près de Jupiter réduisit encore son périhélie à 1,29 UA. La comète, dont la magnitude varie entre 10 et 24[9], a été observée à 7 reprises en 1969, 1982, 1989 et 1996, 2002 et 2008. C'est une comète assez active qui libère, au pic de son activité lorsqu'elle approche le Soleil, environ 60 kg de matière par seconde composée pour deux tiers de gaz et un tiers de matière solide d'après des observations effectuées en 2002 et en 2003. C'est toutefois 40 fois moins que la comète de Halley. Sa densité est faible puisqu'elle est estimée à 0,37 ce qui implique que sa porosité (la proportion des vacuités à l'intérieur du noyau) est proche de 80%[10] .

La comète parcourt son orbite en 6,57 années. Des photos réalisées avec le télescope spatial *Hubble* en mars 2003 ont permis de préciser les dimensions du noyau. C'est un objet de forme ellipsoïdal qui mesure 5 km sur 3 km et tourne sur lui-même en environ 12 heures[11].

En juillet 2014, de nouvelles images prises par *Rosetta* révèlent que le noyau de « Tchouri » est en fait un binaire à contact, d'une taille globale de 4 kilomètres sur 3,5.

Paramètres orbitaux de la comète Tchourioumov-Guérassimenko[12]

Demi-grand axe	Périhélie	Période de révolution	Vitesse orbitale moyenne
3,5072973258 UA	186×10^6 km	6,6 ans	(inconnue en 2010)

Les astéroïdes (2867) Šteins et (21) Lutetia [modifier le code]

La sonde va traverser au cours de son périple plusieurs fois la ceinture d'astéroïdes, située entre les orbites de Mars

et Jupiter, qui rassemble un grand nombre d'objets de petite taille. À deux reprises Rosetta passe suffisamment près d'un de ces petits corps pour permettre d'effectuer des observations détaillées.

(2867) Šteins [modifier le code]

L'astéroïde *(2867) Šteins* a un diamètre d'environ 4,6 km. Il a été découvert le 4 novembre 1969 par Nikolaï Tchernykh, un astronome russe. L'Observatoire européen austral l'a identifié comme étant de type E, c'est-à-dire composé d'enstatite ($Fe_2Si_2O_6$).

Paramètres orbitaux de l'astéroïde *Šteins*[13]

Demi-grand axe	Périhélie	Période de révolution	Vitesse orbitale moyenne
$353{,}495\times10^6$ km	$301{,}867\times10^6$ km	1 327,3582 jours	19,27 km/s

(21) Lutetia [modifier le code]

(21) Lutetia a été découvert en 1852 par Hermann Mayer Salomon Goldschmidt, astronome amateur et peintre allemand. Cet astéroïde est de type M c'est-à-dire ayant un albédo faiblement lumineux mais contrairement aux autres astéroïdes de cette classe, il semble qu'il ne contienne pas de composés métalliques. Il appartient à la ceinture d'astéroïdes et mesure près de 96 km de long et a une masse de $9{,}2\times10^{17}$ kg.

Paramètres orbitaux de l'astéroïde *(21) Lutetia*[14]

Demi-grand axe	Périhélie	Période de révolution	Vitesse orbitale moyenne
$364{,}277\times10^6$ km	$304{,}600\times10^6$ km	1 387,902 jours	18,96 km/s

La sonde [modifier le code]

La sonde *Rosetta* est constituée de deux parties : un orbiteur, qui doit se placer en orbite autour de la comète après avoir effectué une longue navigation et qui est chargé d'étudier et de cartographier celle-ci, de recueillir des données sur les astéroïdes qu'il rencontrera au cours de son parcours et de transmettre les résultats à la Terre et le petit atterrisseur *Philaé*, monté sur un des côtés de la sonde, qui doit se poser sur la comète.

L'orbiteur [modifier le code]

L'orbiteur a une dimension de 2,8 m par 2,1 m par 2 m (environ 10 m^3), pour une masse totale de 2 970 kg (1 300 kg sans le carburant). Il a été conçu par EADS Astrium et Alcatel Alenia Space, anciennement Alenia Spazio[15], pour le compte de l'Agence spatiale européenne. La charge utile de l'orbiteur seul comprend 11 instruments scientifiques.

Système de commande d'attitude et d'orbite [modifier le code]

Article connexe : Système de commande d'attitude et d'orbite.

La propulsion est assurée par 24 moteurs-verniers fournissant chacun 10 newtons de poussée qui disposent de 1 670 kg de carburant (monométhylhydrazine/peroxyde d'azote) pour effectuer les corrections orbitales au cours du long périple de la sonde puis placer celle-ci en orbite autour de la comète[16]. Les ergols sont stockés dans deux réservoirs de 1 106 litres, le premier contenant 660 kg de monométhylhydrazine, le second 1 060 kg de peroxyde d'azote. Quatre roues à réaction complètent le dispositif[17].

Rosetta est stabilisée sur 3 axes ; son système de navigation utilise deux senseurs d'étoile pour repérer une étoile précise et ainsi déterminer l'orientation de la sonde afin de pointer correctement ses antennes de télécommunications, panneaux solaires et instruments scientifiques. Ce capteur doit fonctionner dans des conditions particulières durant l'approche de la comète. Celle-ci est entourée d'un nuage diffus de poussière qui rend difficile l'identification d'une étoile. Un logiciel intelligent a été développé pour permettre à l'instrument de fonctionner. S'ajoutent un senseur solaire, des caméras de navigation et trois gyrolasers[18].

Système de télécommunications [modifier le code]

Le système de télécommunications utilise une antenne parabolique grand gain de 2,2 mètres de diamètre orientable. Elle permet d'envoyer les données vers la Terre avec un débit compris entre 10 000 et 22 000 bits/s. La station de New Norcia, construite en Australie par l'Agence spatiale européenne pour communiquer notamment avec *Rosetta*, n'est visible que 12 heures par jour par la sonde du fait de la rotation de la Terre ; d'autre part celle-ci sera à certains moments masquée par le Soleil. Durant les périodes où le signal ne peut être reçu, Rosetta stockera les données recueillies dans une mémoire de masse de 25 Go puis les retransmet lorsque la fenêtre de communication le permet[19].

L'alimentation électrique [modifier le code]

L'alimentation en énergie est assurée par deux panneaux solaires comportant chacun 5 éléments qui peuvent pivoter de plus ou moins 180° pour capter le maximum de l'énergie solaire. Chaque panneau est long de 15 mètres et la surface totale est de 64 m^2. Les panneaux fournissent entre 8 700 watts et 450 watts de puissance suivant la position de la sonde par rapport au Soleil. La sonde a besoin de 390 watts pour être maintenue en état de marche avec le

minimum d'équipements actifs. La taille importante des panneaux solaires s'explique par la grande distance entre le Soleil et la sonde sur une partie de sa trajectoire. Les sondes amenées à voyager à une telle distance du Soleil, comme Voyager 1 et Voyager 2 embarquent des générateurs thermoélectriques à radioisotopes qui produisent de l'énergie électrique grâce à la chaleur émise par la désintégration radioactive. Cette technologie n'étant pas disponible en Europe, ce système a été remplacé par des panneaux solaires de grande taille conçus pour fonctionner à des températures très basses tout en optimisant la production d'énergie. *Rosetta* sera la première sonde alimentée par l'énergie solaire à voyager au-delà de la ceinture d'astéroïdes[20, 21].

Système de régulation thermique [modifier le code]

Article connexe : Contrôle thermique des engins spatiaux.

Le système de régulation thermique doit maintenir l'intérieur de la sonde à une température d'environ 20 °C. *Rosetta*, qui voyagera dans le Système solaire, rencontrera des températures variées : à 800 millions de kilomètres du Soleil, l'intensité du rayonnement solaire n'est plus suffisante pour chauffer la sonde, il est donc nécessaire d'employer des dispositifs de chauffage ; au contraire, au plus près du Soleil, afin d'éviter une surchauffe, des radiateurs sont installés pour dissiper l'énergie thermique. *Rosetta* est également munie d'un système de 14 lamelles réparties sur 2,5 m^2, des persiennes qui s'ouvrent au Soleil pour laisser échapper la chaleur, mais qui se referment à l'ombre, à l'image des stores vénitiens[22]. Ce système, testé avec succès au Centre européen de technologie spatiale (ESTEC), permet de réguler la température sans consommation électrique[23].

Instruments scientifiques [modifier le code]

La charge utile de l'orbiteur comporte onze instruments scientifiques qui représentent une masse de 165 kg :

Des techniciens installent ALICE à bord de la sonde *New Horizons*, lancée en janvier 2006.

1. ALICE (*Ultraviolet Imaging Spectrometer*) est un spectromètre imageur ultraviolet[24] similaire à celui embarqué sur la sonde *New Horizons*[25] destiné à analyser la composition de la coma, de la queue et la production d'eau ainsi que de monoxyde et dioxyde de carbone par le noyau. D'un poids de 3,1 kg, cet instrument consomme 2,9 W et a été fabriqué aux États-Unis ;
2. CONSERT (*Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission*) est un sondeur radiofréquence conçu pour l'étude de la structure interne du noyau. Lorsque *Philaé* sera posé sur noyau et *Rosetta* orbitera autour, *Consert* mesurera la propagation d'ondes électromagnétiques métrique (90 MHz) à travers le noyau entre *Rosetta* et *Philae*. L'étude du signal mesuré (délai, puissance, chemins multiples) permettra de trouver des informations inédites sur la structure interne et la composition du noyau: densité, hétérogénéité, présence de vides ou de zones plus denses et aidera à une meilleure compréhension des processus de formation de la comète[26]. *Consert* est un instrument conçut et réalisé par l'IPAG (CNRS/UJF, Grenoble, France), le LATMOS (CNRS/UVSQ, Paris, France) et le MPS (Lindau, Allemagne) sous financement CNES et DLR.;
3. COSIMA (*Cometary Secondary Ion Mass Analyser*) est un spectromètre à temps de vol qui doit analyser la composition des grains de poussière émis par la comète afin de déterminer s'ils sont organiques[27] ;
4. GIADA (*Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*) mesurera le nombre, la masse, la distribution des vecteurs de dispersion (vitesse, direction) de grains de poussière émis par la comète et réfléchis par la pression de radiation[28] ;
5. MIDAS (*Micro-Imaging Dust Analysis System*) étudiera la taille, la forme et le volume des particules autour de la comète[29] ;
6. MIRO (*Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*) est un radiotélescope fonctionnant dans la bande millimétrique et sub-millimétrique chargé essentiellement de déterminer la température de la surface et de distinguer les parties de la surface couvertes de poussières et de glace : ces informations sont primordiales pour déterminer les sites d'atterrissage propices[30] ;
7. OSIRIS (*Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System* (en)) comporte deux caméras optiques à haute résolution (4 mégapixels) fonctionnant dans un spectre lumineux allant de l'ultraviolet au proche infrarouge qui peuvent être couplées pour obtenir des images stéréoscopiques. Elles doivent permettre d'effectuer un relevé topographique du noyau avec une résolution d'un mètre, déterminer la rotation du noyau et observer le dégazage, suivre les poussières et les jets de gaz et enfin photographier les astéroïdes[31] : Osiris comprend une caméra à petit champ (2,5°x2,5°) NAC (Narrow Angle Camera) et une caméra grand champ (12°x12°) WAC (Wide Angle Camera). Les données sont enregistrées sur une mémoire de 1 gigaoctet ;
8. ROSINA (*Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis*) est un spectromètre des gaz nobles et ionisés qui doit déterminer la composition de l'atmosphère et de l'ionosphère de la comète, les réactions chimiques qui y ont lieu ainsi que la vitesse des particules gazeuses ionisées[32] ;
9. RPC (*Rosetta Plasma Consortium*) est constitué de cinq analyseurs de plasma et de deux sondes de

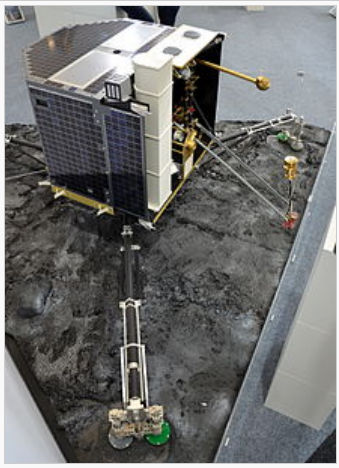
Une des sondes de Langmuir à bord de *Rosetta*.

Langmuir ; il est chargé d'étudier la structure de la coma interne et l'interaction de la comète avec le vent solaire, doit surveiller l'activité cométaire et mesurer les propriétés physiques du noyau[33] ;

10. RSI (*Radio Science Investigation*) mesurera la masse, la densité et la gravité du noyau. De plus, il définira l'orbite de la comète et étudiera sa coma[34] ;
11. VIRTIS (*Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer*) est un spectromètre-imageur travaillant en lumière visible et dans l'infrarouge. Il est chargé d'établir une carte de la nature des solides et la température à la surface. Cet instrument sera utilisé afin de localiser les sites d'atterrissage[35].

L'atterrisseur [modifier le code]

Fonctionnement et mission [modifier le code]


Maquette de l'atterrisseur *Philaé* qui doit se poser sur la comète.

L'atterrisseur *Philaé* se présente sous la forme d'un cylindre partiellement hexagonal, d'un mètre de diamètre pour 80 cm de haut et d'une masse totale de 100 kg. La structure est réalisée en fibre de carbone avec un revêtement d'aluminium[36]. L'énergie électrique est fournie par des batteries et des panneaux solaires.

Philaé sera largué à quelques kilomètres d'altitude et déploiera ses trois pieds. La dureté du sol est définie avant l'atterrissage par l'instrument VIRTIS. En raison du manque d'informations sur la consistance de la surface au lancement de la sonde, trois dispositifs d'atterrissage complémentaires sont prévus. Les pieds du train d'atterrissage sont munis de raquettes qui doivent éviter à la sonde de s'enfoncer dans un sol mou. Pour éviter un rebond sur un sol qui se révélerait élastique Philaé est muni d'un système propulsif qui va plaquer au sol l'engin immédiatement après le contact avec la surface de la comète. Enfin deux harpons et des vis doivent lui permettre de se fixer solidement sur un sol plutôt ferme[37,38]. Pour éviter que l'atterrisseur ne rebondisse, les trois pieds du train d'atterrissage sont équipés d'absorbeurs de chocs. En raison du changement d'objectif de la mission qui doit amener Rosetta sur une comète 10 fois plus importante qu'initialement prévu, les absorbeurs de chocs ont été modifiés pour pouvoir rester efficaces. Les jambes du train d'atterrissage peuvent tourner, se soulever ou se pencher pour remettre l'atterrisseur d'aplomb après le contact au sol.

La descente sera une étape critique de la mission : si elle se fait trop rapidement, *Philaé* risque de rebondir à cause de la faiblesse de la gravité qui est égale à 1/100 000 de celle de la Terre : l'atterrisseur pèse un gramme à la surface de la comète. Le noyau cométaire peut dégazer et déstabiliser *Philaé* qui devra alors utiliser le moteur placé sur le dessus pour se remettre sur le bon chemin. De plus, la grande distance qui séparera la Terre de l'atterrisseur empêchera tout contrôle direct : les communications feront un aller/retour en 80 minutes et cette phase du vol sera donc entièrement pilotée par le programme de l'atterrisseur[39].

Philaé est recouvert de panneaux solaires fournissant 9 W de puissance couplés à des batteries rechargeables. En raison des variations de l'exposition au Soleil générées par la rotation du noyau, du possible givrage des panneaux solaires ou du brouillard créé par les poussières, des batteries électriques lui assurent une autonomie minimale de cinq jours qui est la durée estimée pour que l'atterrisseur remplisse ses missions principales. Les données acquises seront stockées sur 12 Mb de mémoire puis transmises à l'orbiteur par un émetteur bande S d'un watt de puissance, qui les fera parvenir à la Terre. En utilisant ses pieds, il pourra pivoter ou s'incliner[4].

L'atterrisseur a été conçu par un consortium de 8 pays européens[N 1], sous la direction de l'Agence spatiale allemande (DLR).

Instruments scientifiques [modifier le code]

La charge utile de l'atterrisseur est composée de dix instruments scientifiques qui représentent une masse de 21 kg[40] :

1. APXS (*Alpha X-ray Spectrometer*) est un spectromètre X, alpha et protons chargé de déterminer la composition du noyau de la comète ;
2. CIVA (*Comet Infrared & Visible Analyser*), d'origine franco-suisse, comprend cinq caméras panoramiques, un couple de caméras stéréoscopiques fournissant des images en relief, un spectromètre infrarouge et un microscope optique analysant des échantillons avec une résolution de 7 µm. Chaque caméra pèse 100 g et a une résolution d'un mégapixel. Les composants peuvent résister à des températures comprises entre −100 °C et 50 °C[41] ;
3. CONSERT (*Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission*) est un sondeur radar qui sera utilisé en parallèle avec le même équipement embarqué sur l'orbiteur ;
4. COSAC (*Cometary Sampling and Composition experiment*) est un pyrolyseur et analyseur (spectromètre de masse et chromatographe) qui doit analyser les gaz et les molécules organiques complexes prélevés dans le sol. Des échantillons prélevés sur le sol et dans le sous-sol seront portés à 800 °C dans le pyrolyseur puis analysés.
5. PTOLEMY mesurera les relations isotopiques d'éléments légers ;

6. MUPUS (*Multi-Purpose Sensors for Surface and Subsurface Science*) est un ensemble de détecteurs mesurant la densité, les propriétés thermiques et mécaniques de la surface ;
7. ROLIS (*Rosetta Lander Imaging System*), caméra CCD à haute résolution, enregistrera des images lors de l'atterrissage ;
8. ROMAP (*Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor*) est un magnétomètre qui doit mesurer l'intensité du champ magnétique de la comète et les interactions avec le vent solaire ;
9. SD2 (*Sample and Distribution Device*) forera un trou de 20 cm de profondeur pour y collecter des échantillons, analysés par la suite ;
10. SESAME (*Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments*) est composé de trois instruments qui étudieront la propagation des ondes sonores à travers la surface, les propriétés électriques et les poussières retombant à la surface.

Le contrôle au sol [modifier le code]

La salle de contrôle de *Rosetta* à l'ESOC durant la dernière assistance gravitationnelle de la Terre (ESB3).

Le contrôle de la mission est assuré par le Centre européen d'opérations spatiales (ESOC). La salle de contrôle, dédiée aux missions européennes à destination des autres planètes du Système solaire, est partagée avec les missions Mars Express et Vénus Express. L'équipe de contrôle au sol de Rosetta est assistée par une équipe chargée du calcul de la trajectoire, et utilise le logiciel SCOS-2000. Le Centre des opérations scientifiques de Rosetta (*Rosetta Science Operations Centre*), chargé de la collecte et de la diffusion des données scientifiques, est implanté à l'ESOC, mais également au Centre européen de technologie spatiale (ESTEC) aux Pays-Bas. L'atterrisseur est contrôlé par l'Agence spatiale allemande (DLR) depuis Cologne ; les données collectées par *Philaé* sont traitées par le Centre national d'études spatiales (CNES), à Toulouse.

La complexité de la mission a nécessité la mise au point de plusieurs innovations. La sonde est notamment mise en hibernation durant plusieurs années pour économiser l'énergie qui se raréfie lorsque la sonde se dirige vers Jupiter et ménager les équipements du bord. Pendant les phases de routine, un seul contact est établi par semaine avec le centre de contrôle.

Pour les communications avec Rosetta, l'agence spatiale européenne utilise la station de New Norcia qu'elle a fait édifier près de Perth en Australie. Celle-ci est entrée en service en 2003 peu de temps avant le lancement de Rosetta et est télécommandée depuis le Centre européen d'opérations spatiales[42]. La station de Cebreros, en Espagne, également détenue par l'agence spatiale, est utilisée en appoint[N2] ; toutes deux sont équipées d'antennes paraboliques de 35 mètres de diamètre et sont conçues pour pouvoir communiquer avec les sondes les plus éloignées. Si *Rosetta* n'est pas en vue de ces deux stations, les antennes de Madrid, de Goldstone et de Canberra du réseau de communications en espace profond de la NASA peuvent être utilisées. Deux canaux du réseau de communications avec l'espace lointain sont attribués à la sonde spatiale *Rosetta* afin de pouvoir communiquer avec la Terre : 8 421,790123 MHz et 8 423,148147 MHz. Ces deux fréquences sont celles de l'émetteur à bord de la sonde et ne tiennent donc pas compte de l'effet Doppler.

Chronologie [modifier le code]

Lancement (2004) [modifier le code]

Le lanceur Ariane 5 retenu pour le lancement de la sonde.

L'objectif initial de la sonde spatiale *Rosetta* est la comète Wirtanen ; les astéroïdes *(140) Siwa* et *(4979) Otawara* doivent faire l'objet d'observations à courte distance au cours du périple de la sonde[43]. Le lancement est prévu en janvier 2003 mais l'échec du vol 157 de la fusée Ariane 5 le 11 décembre 2002, cloue au sol pour plus d'un an ce lanceur qui avait été retenu pour placer en orbite la sonde. La fenêtre de tir permettant d'atteindre la cible est relativement courte. Il est encore possible d'atteindre la comète en janvier 2004 en utilisant le lanceur russe Proton[20]. Mais l'ESA choisit finalement d'utiliser le lanceur Ariane 5 ce qui nécessite de trouver une autre destination pour la sonde[44].

La seule cible alternative satisfaisant les différentes contraintes de la mission est la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, accessible en février 2004 avec un lanceur de type Ariane 5 G+ et en février 2005 avec un lanceur de type Ariane 5 ECA ou Proton. Une étude de faisabilité est menée par le CNES, qui doit valider le déroulement de l'atterrissage dans ce nouveau contexte, et par le Laboratoire d'astronomie spatiale du CNRS à l'aide du télescope spatial Hubble : elle permet de déterminer que le noyau de cette comète était 30 fois plus massif que celui de Wirtanen rendant la mission de l'atterrisseur plus complexe mais néanmoins réalisable[45]. Après 3 mois d'investigations, le 14 mai 2003, le comité des programmes

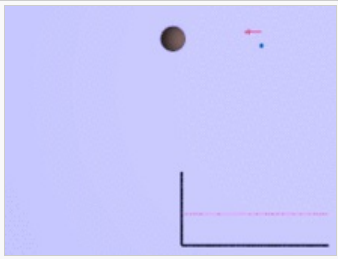
scientifiques de l'ESA approuve le nouvel objectif[46]. Le rendez-vous avec la comète, prévu initialement en 2011, est repoussé à 2014, malgré un report du lancement de seulement un an. Cet allongement découle de la trajectoire plus complexe que doit suivre la sonde pour parvenir jusqu'à son nouvel objectif.

Le lancement de la sonde *Rosetta* a lieu le mardi 2 mars 2004 à 7 h 17 min 44 s TC (7 h 17, heure locale) après deux reports dus à un problème technique et à des conditions météorologiques défavorables[N3], depuis le centre spatial de Kourou, en Guyane française. Il s'agit du premier vol de la version G+ d'Ariane 5 et du 158e vol du lanceur Ariane.

Les étages d'accélération à poudre et l'étage principal cryotechnique fonctionnent de manière nominale. Ce dernier est largué alors que le lanceur a atteint une altitude de 173,4 km. La suite du vol d'Ariane est très différente de ce qui est pratiqué pour les lancements commerciaux qui constituent le fonds de commerce du lanceur. Avant d'allumer le second étage, le lanceur suit une trajectoire balistique qui lui fait parcourir une partie d'une orbite elliptique très allongée dont l'apogée et le périgée sont respectivement de 4 000 km et 45 km. Une heure, 45 minutes et 47 secondes après le décollage, le deuxième étage de type EPS, à propergols stockables, est allumé pendant 17 minutes, imprimant à *Rosetta* suffisamment de vitesse pour échapper à la gravité terrestre. La sonde est larguée par le dernier étage du lanceur 2 heures, 13 minutes et 30 secondes après le décollage[47]. La précision de l'injection de *Rosetta* sur sa trajectoire est suffisante pour que l'ESA puisse confirmer, le 15 mars 2004, que la sonde survolera comme prévu les astéroïdes *(2867) Šteins* et *(21) Lutetia*[48,45].

Première assistance gravitationnelle de la Terre (2005) [modifier le code]

Article connexe : Assistance gravitationnelle.



Assistance gravitationnelle : la courbe rouge représente l'évolution de la vitesse de l'engin en fonction du temps.

Afin de gagner en vitesse et adapter sa trajectoire, *Rosetta* utilise l'assistance gravitationnelle. Celle-ci permet, en utilisant l'attraction d'un corps céleste massif, planète ou lune, de modifier la vitesse et la trajectoire d'une sonde. L'effet est d'autant plus important que l'engin spatial frôle de près le corps céleste. La déviation et l'accélération obtenues dépendent également de l'angle d'approche et de la vitesse relative des deux protagonistes. Seul le recours à l'assistance gravitationnelle, qui permet d'économiser de grandes quantités de carburant, permet le lancement des missions comme Rosetta car aucun lanceur n'est suffisamment puissant pour placer une sonde directement sur la trajectoire avec ce type d'objectif. Lorsque la sonde a été mise en orbite par le lanceur Ariane, sa vitesse par rapport au Soleil, dite vitesse héliocentrique, est égale à celle de la Terre soit 30 km/s. La sonde va frôler par la suite à trois reprises la Terre pour accélérer : sa vitesse héliocentrique va passer successivement à 33,8 km/s, 35,1 km/s et 38,7 km/s au dernier passage[49]. L'assistance gravitationnelle de Mars, qui est mise en œuvre après le premier passage proche de la Terre, sert uniquement à modifier la trajectoire de Rosetta de manière à la faire longer à nouveau la Terre pour la deuxième assistance gravitationnelle[50].

Le 4 mars 2005, *Rosetta* frôle la Terre (en anglais *Earth Swing-By*, abrégé ESB). Les ingénieurs de l'Agence spatiale européenne constatent que la trajectoire est légèrement différente de celle calculée : les stations au sol calculent que la sonde a accéléré de 1,8 millimètre par seconde, chiffre confirmé par la NASA[51]. Les sondes NEAR Shoemaker et Galileo, qui avaient également utilisé comme *Rosetta* la Terre pour réaliser une manœuvre d'assistance gravitationnelle respectivement en 1998 et 1990 avaient également observé un écart de 4 et 13 mm/s par rapport aux prévisions.

Deuxième assistance gravitationnelle de la Terre et survol de Mars (2007) [modifier le code]

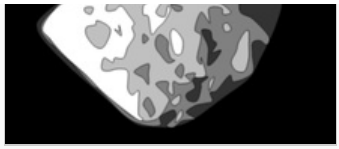
Le 25 février 2007 la sonde réalise sa deuxième manœuvre d'assistance gravitationnelle en frôlant Mars. La veille, *Rosetta* est orientée afin que ses instruments puissent étudier la planète ; OSIRIS, ALICE, VIRTIS, CIVA, ROMAP, RSI, sont mis en marche quelques heures avant le survol : celui-ci comporte un certain risque car pendant 15 minutes, la sonde se situe dans l'ombre de Mars où ses panneaux solaires ne reçoivent aucune énergie du Soleil et qui bloque toute communication avec la Terre. Peu avant le début de l'éclipse, la sonde est basculée en mode de veille (stand-by mode) afin de minimiser la consommation électrique ; seul *Philaé*, disposant de son propre système d'alimentation, est allumé et effectue des mesures[52]. *Rosetta* passe dans l'ombre de la planète rouge à 1 h 52 TU. Deux minutes après, elle est à 250 km d'altitude. Le contact reprend à 2 h 06. Cependant, *Rosetta* reste dans le noir jusqu'à 2 h 19[53].

Le 13 novembre 2007, *Rosetta* effectue son second survol de la Terre (ESB2). Son orbite s'allonge et sa période est désormais d'exactement 2 ans. L'accélération obtenue est conforme aux prévisions. Au cours de son passage à proximité de la Terre, *Rosetta*, prise par erreur pour un astéroïde et brièvement dénommée 2007 VN_{84}, déclenche une fausse alerte de collision potentielle d'un corps céleste avec la Terre[54].

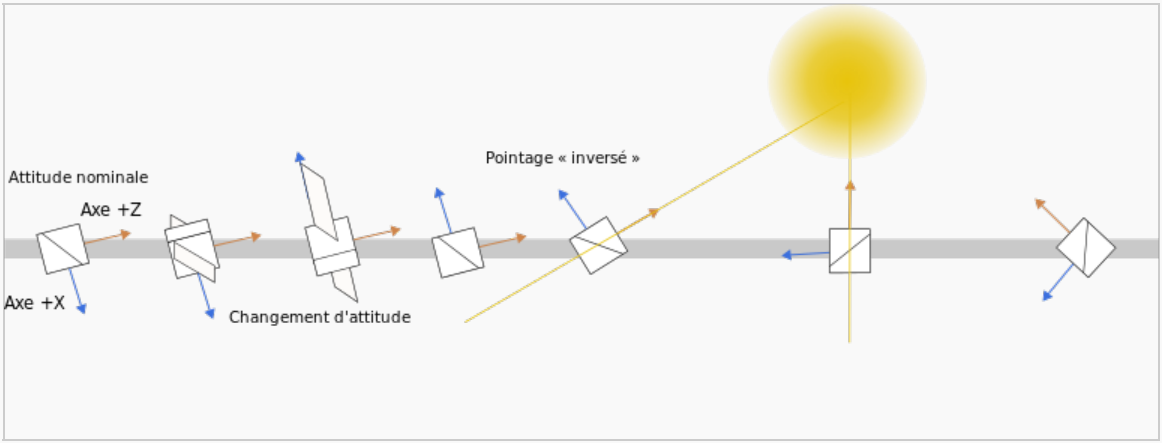
Survol de l'astéroïde *(2867) Šteins* (2008) [modifier le code]

Le 1er septembre 2008, les instruments scientifiques sont activés pour permettre l'observation de l'astéroïde *(2867) Šteins*. La sonde le survole à

800 km, le 5 septembre 2008 à 17 h 45 UTC, avec une vitesse relative de 8,6 km/s. Malgré une panne quelques minutes avant le rendez-vous de la caméra à petit champ NAC capable de fournir des photographies à haute résolution, les données récupérées à l'aide des autres instruments ont permis de confirmer le bon fonctionnement de ceux-ci et ont fourni une image relativement détaillée de la surface de l'astéroïde qui présente la forme d'un diamant[55]. L'exposition de certaines faces de *Rosetta* au Soleil est « défendue » par l'architecture de la sonde. En effet, les équipements dissipant une grande quantité de chaleur ont été placés sur les côtés d'ombre, munis de persiennes. Or, pendant la phase d'approche finale, l'attitude de *Rosetta* était telle que ces faces pointaient dans la direction du Soleil, exposant des parties sensibles. Afin d'éviter d'abîmer des instruments, une manœuvre de rotation de 180° autour de l'axe +Z a donc été menée pendant 20 minutes, 40 minutes avant l'approche finale, limitant ainsi l'exposition au Soleil[56].



Représentation de *(2867) Šteins* à partir des données reçues par *Rosetta*.



Le plan de vol de Rosetta pour le survol de *(2867) Šteins*

Dernière assistance gravitationnelle de la Terre (2009) [modifier le code]

Le modèle de qualification électrique de Rosetta (EQM) au Centre européen d'opérations spatiales (ESOC, Darmstadt).

Une manœuvre de correction de trajectoire, permettant de passer à la distance prévue de la Terre, est effectuée le 22 octobre 3 semaines avant le survol. À 13 h 51 UTC, les 4 moteurs axiaux de la sonde de 10 Newtons sont allumés durant 1 minute et 27 secondes et fournissent un delta-V de 8,8 cm/s[57].

Le 13 novembre 2009, la sonde utilise l'attraction de la Terre pour sa dernière assistance gravitationnelle : à 7 h 45 et 40 s UTC, *Rosetta* passe à 2 481 km au-dessus de l'île de Java, en Indonésie, avec une vitesse relative de 13,34 km/s. Cette manœuvre permet de gagner 3,6 km/s[58]. Aucune anomalie n'a été constatée au niveau de la vitesse[59]. Grâce à cette dernière manœuvre la sonde navigue à une vitesse de 38,7 km/s contre 30 km/s à son lancement. Rosetta est désormais sur une orbite très allongée dont l'apogée, située à 5,33 unités astronomiques (800 millions de kilomètres) l'amène à proximité de l'orbite de la planète Jupiter. Tout en s'éloignant de la Terre la trajectoire de la sonde va converger progressivement avec celle de la comète, qu'elle doit rejoindre après avoir commencé à parcourir la partie de son orbite qui la ramène vers les planètes internes[60].

Mi-juillet 2010, Rosetta est devenue la première sonde spatiale équipée de panneaux solaires à s'être autant éloignée du Soleil[60]. Pour réduire la consommation d'une énergie qui va se faire rare, mais également pour limiter les coûts opérationnels et la fatigue de l'électronique, la sonde doit être placée en sommeil à compter de 2011 jusqu'en 2014. En décembre 2009, une répétition de ce mode est réalisée sur le modèle de tests (Electrical Qualification Model, abrégé EQM) au Centre européen d'opérations spatiales avant un essai sur la sonde elle-même en janvier 2010[61].

Survol de l'astéroïde (21) Lutetia (2010) et mise en sommeil [modifier le code]

Alors que la sonde entame sa dernière orbite qui doit l'amener presque jusqu'à l'orbite de Jupiter, elle traverse la ceinture d'astéroïdes. Le 16 mars 2010, la caméra OSIRIS est utilisée conjointement avec le télescope spatial Hubble afin d'étudier l'objet P/2010 A2 et de lever l'ambiguïté sur sa nature de comète ou d'astéroïde[62] ; l'analyse des images montrera qu'il s'agit d'un astéroïde traînant un nuage de poussières consécutif à une collision.

Rosetta survole le 10 juillet l'astéroïde (21) Lutetia. Pour préparer ce survol, une manœuvre de correction de trajectoire d'une durée de 188 secondes a été conduite le 18 juin à 8 h 24 CEST, pour que *Rosetta* passe à 3 162 km de Lutetia et dispose d'un angle de vue adapté pour ses instruments[63]. Les instruments scientifiques ont été activés quelques jours avant le survol qui a eu lieu à une vitesse relative de 15 km/s[64]. Tous les instruments de

l'orbiteur et deux spectromètres et le magnétomètre de l'atterrisseur Philae étaient en marche durant cette rencontre[65]. Près de 400 photographies sont prises dont certaines avec une résolution qui atteint 1 pixel pour 60 m ; elles montrent un astéroïde de forme très allongée (longueur 130 km), couvert de cratères qui traduisent l'ancienneté de ce petit corps céleste, sans doute vieux de 4,5 milliards d'années[66]. Les photos montrent également des blocs sombres et des stries en surface rappelant celles de Phobos. Enfin, un cratère d'impact est partiellement comblé d'éboulis marbrés de vergétures qui pourraient avoir été produits par des tremblements de terre consécutifs à des collisions avec d'autres corps célestes.

Le 8 juin, alors que la sonde s'éloigne toujours plus du Soleil, la sonde est volontairement mise en sommeil pour 31 mois[67] car ses panneaux solaires ne lui fournissent plus assez d'énergie. En effet lorsqu'elle atteint le point le plus éloigné du Soleil de sa trajectoire, ses panneaux solaires ne reçoivent plus que 4% du rayonnement solaire reçu au niveau de la Terre. Durant son hibernation les communications avec la Terre sont coupées[68] mais la sonde n'est pas complètement inactive durant cette phase : un logiciel particulièrement complexe ausculte régulièrement les équipements et les instruments scientifiques et s'assure que les composants de la sonde restent dans la plage de températures prévue en utilisant si nécessaire des résistances thermiques. Durant cette période la trajectoire de *Rosetta* atteint son point le plus éloigné du Soleil et l'énergie solaire disponible ne représente plus que 4 % de ce dont disposait la sonde près de la Terre. La surface des panneaux solaires a été dimensionnée pour pouvoir maintenir dans ces conditions défavorables la sonde en état de fonctionnement : celle-ci a besoin de 390 Watts durant sa mise en sommeil (résistances chauffantes, exécution des programmes de contrôle de l'état de la sonde).

Rendez-vous avec la comète (2014) [modifier le code]

Réveil de la sonde spatiale (janvier-février) [modifier le code]

Le 20 janvier 2014, la trajectoire de la sonde la rapproche de nouveau du Soleil : après s'en être éloignée de 800 millions de kilomètres, Rosetta se trouve désormais à 673 millions de km de celui-ci et à 9 millions de km de la comète. Après 31 mois d'hibernation[69], le rayonnement solaire est alors de nouveau suffisamment important pour que les panneaux solaires fournissent l'énergie nécessaire aux principaux systèmes, autorisant ainsi la réactivation de la sonde spatiale. Le rendez-vous avec le comète doit avoir lieu environ 7 mois plus tard, mais plusieurs manœuvres délicates doivent être réalisées auparavant. Le réveil de la sonde est un moment de tension pour les responsables du projet : pour économiser le peu d'énergie disponible durant les 31 mois écoulés aucune information sur l'état de la sonde ou les événements qui auraient pu survenir à bord n'a été transmise aux opérateurs au sol. Après avoir réchauffé ses instruments de navigation puis, grâce à ses propulseurs, stoppé sa rotation et positionné ses panneaux solaires face au Soleil, Rosetta pointe son antenne grand gain vers la Terre[70]. Le premier signal témoignant du réveil de la sonde est reçu avec un léger retard mais dans la fenêtre temporelle prévue par les stations de Goldstone, en Californie et de Canberra, en Australie[71]. Les instruments de Rosetta sont activés les uns après les autres puis testés. Le 21 mars, la caméra à haute résolution NAC d'*Osiris* fournit une première image dans laquelle on peut distinguer la comète que poursuit la sonde spatiale sous la forme d'un simple point lumineux. Le 28 mars, l'atterrisseur *Philae* est réactivé à son tour et ses instruments commencent une séquence de tests. Progressivement la comète grossit sur les images prises périodiquement par la caméra. À compter de fin avril, on commence à distinguer un nuage diffus de gaz et de poussière autour de la comète : celle-ci en se rapprochant du Soleil commence à se réchauffer et des gaz s'évaporent de la surface formant une queue caractéristique dont la longueur est évaluée à cette date à 1300 km. Ce phénomène était prévu mais à une distance plus faible du Soleil : 3 unités astronomiques alors que la comète se trouvent encore à 4 UA. Selon Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire au CNES, les gaz qui s'échappent sont sans doute à ce stade du CO ou du CO2 plus volatile que la vapeur d'eau[72].

Manœuvres de rendez-vous (mai-juillet) [modifier le code]

Au cours des mois qui précèdent son arrivée à proximité de la comète prévue le 4 août 2014, *Rosetta* effectue huit manœuvres entre mai et juillet consistant à faire fonctionner sa propulsion, parfois durant plusieurs heures d'affilée, afin de faire passer le différentiel de vitesse de la sonde par rapport à la comète de 750 m/s à moins de 1 mètres par seconde tout en plaçant l'engin spatial à proximité immédiate de la comète (environ 200 km). Les moteurs-fusées utilisés sont les 4 propulseurs situés à l'opposé des instruments scientifiques. Chacun a une poussée de 10 Newton. Du fait d'une légère fuite détectée en 2006 dans le système de propulsion, les moteurs sont opérés à une pression inférieur à celle prévue ce qui dégrade légèrement leurs performances (la poussée obtenue à partir d'une quantité donnée de carburant). La sonde doit se rapprocher progressivement de la comète en suivant une trajectoire corrigée en permanence par le contrôle au sol de manière à éviter la poussière laissée dans son sillage par Churyumov-Gerasimenko tout en bénéficiant de bonnes conditions d'éclairage[73].

Manœuvres de rendez-vous[74]

Date	Distance de la comète	Delta-V	Résultat		
			Delta-V effectif	Différentiel de vitesse	Remarque
7 mai	1,9 millions km	20 m/s	20 m/s	754 m/s	Test de la propulsion
21 mai	1 million km	290,89 m/s	289,59 m/s	463 m/s	Durée 7h15 min

Premiers aperçus de la comète (juin/juillet) [modifier le code]

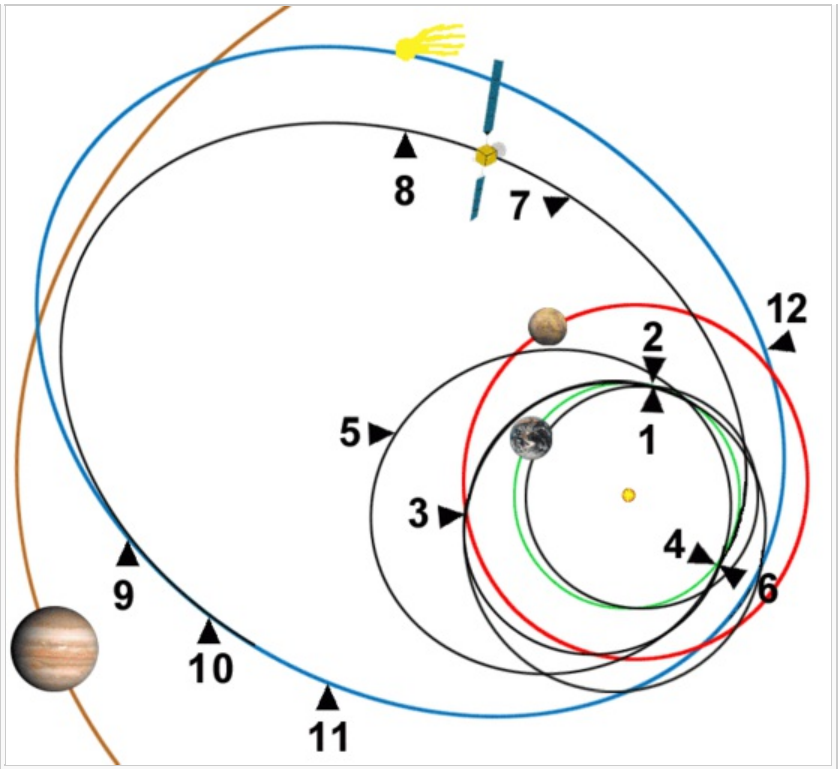
Alors que la comète Churyumov-Gerasimenko en avril

21 mai	1 million km	290,89 m/s	289,59 m/s	463 m/s	ergols consommés : 218 kg
4 juin	425 250 km	269,5 m/s	269,49 m/s	192,1 m/s	Durée 6h39 min ergols consommés : 190 kg
18 juin	194 846 km	*90,76 m/s*		101,3 m/s	
2 juillet	51 707 km	*58,80 m/s*		43 m/s	
9 juillet	22 314 km	*24,91 m/s*		18,4 m/s	
16 juillet	9 590 km	*10,65 m/s*		7,9 m/s	
23 juillet	4 126 km	*4,62 m/s*		~1 m/s	
3 août		*3,2 m/s*	3,2 m/s		La trajectoire de Rosetta passe à 70 km de la comète au lieu de 200 km
6 août	100 km				Début manœuvres d'insertion en orbite

était accompagnée d'une queue (coma) indiquant un dégazage en cours, celle-ci disparaît par la suite. À compter de fin juin, alors que la sonde Rosetta se trouve à environ 86000 km (27/28 juin), la caméra OSIRIS réalise les premières photos qui permettent de commencer à distinguer les contours du corps céleste. Celui-ci effectue une rotation sur lui-même toutes les 12,4 heures. Le 11 juillet, les photos plus détaillées montrent que la comète de forme très irrégulière est constituée d'un noyau double reliés par un étranglement. Plusieurs hypothèses sont émises : la plus probable est que cette forme a été obtenue par l'agglomération de deux corps distincts au moment de la formation du système solaire. Selon d'autres théories cette forme pourrait résulter de la perte de matière associée au dégazage ou découler des forces de gravité exercées par le Soleil ou Jupiter[75]. Le 25 juillet, la caméra grand angle en utilisant une pose longue parvient à montrer que la comète est entourée d'une chevelure de gaz, mais que celle-ci est encore extrêmement ténue[76].

L'insertion en orbite (août/septembre) [modifier le code]

Les deux dernières manœuvres exécutées les 3 et 6 août (cf tableau ci-dessus) placent Rosetta sur une trajectoire qui la maintient à proximité de la comète. La comète a une forme très irrégulière qui impose de longues investigations avant de permettre la mise en orbite. En effet celle-ci n'est possible que si Rosetta circule à faible distance du sol (30 km)[N4] et le maintien sur une orbite aussi basse peut entraîner rapidement une collision de la sonde et de la comète. Avant de placer Rosetta sur cette orbite, les contrôleurs au sol doivent d'abord connaitre avec précision les caractéristiques du champ de gravité de la comète, la position de son centre de masse et sa forme précise ainsi que disposer de points de repères au sol pour pouvoir reconstituer à tout moment la position de la sonde. Pour recueillir ces informations la sonde spatiale va tourner autour de la comète à environ 100 km de sa surface. À cette distance, le champ gravitationnel est trop faible pour que la sonde spatiale se maintienne en orbite et les contrôleurs utilisent la propulsion de Rosetta pour lui faire parcourir une pseudo orbite de forme triangulaire comportant trois segments de droite longs de 100 km qui sont parcourus chacun en trois et quatre jours. À chaque fois que la sonde spatiale manœuvre pour entamer un nouveau segment ses moteurs consomment quelques centaines de grammes d'ergols[77,78]. Au cours des deux mois suivants, la sonde spatiale doit se rapprocher par palier, à 50 puis 30 kilomètres. À cette dernière altitude, la force d'attraction gravitationnelle de la comète devient suffisamment importante pour maintenir la sonde spatiale sur une orbite elliptique[78]. À cette distance, la force gravitationnelle de la comète devient suffisante pour que Rosetta puisse conserver une orbite circulaire. Toutefois la gravité est si faible que la sonde tournera autour de la comète à 10 cm/s contre 7,5 km/s pour un satellite en orbite basse autour de la Terre. L'insertion sur une orbite "naturelle" devrait intervenir en septembre. La vitesse de la sonde autour de la comète aux formes très irrégulières doit être ajustée en permanence pour éviter que *Rosetta* ne s'écrase ou qu'elle échappe à l'attraction de Churyumov-Gerasimenko. L'orbiteur commence à cartographier le noyau de manière détaillée afin de permettre la sélection de 5 sites d'atterrissage potentiels. Le site final devra bénéficier de bonnes conditions d'éclairage pour permettre la recharge des batteries de l'atterrisseur par ses panneaux solaires et ne pas comporter de gros rochers ou crevasses[79,80,81,82].



1 - Mars 2004 : lancement de Rosetta, 2 - mars 2005 : 1re assistance gravitationnelle de la Terre, 3 - février 2007 : assistance gravitationnelle de Mars, 4 - novembre 2007 : deuxième assistance gravitationnelle de la Terre, 5 - septembre 2008 : survol de l'astéroïde Šteins, 6 - novembre 2009 : 3e et dernière assistance gravitationnelle de la Terre, 7 - juillet 2010 : rendez-vous avec l'astéroïde (21) Lutetia, 8 - juillet 2011 : mise en sommeil de la sonde, 9 - 20 janvier 2014 : réactivation de la sonde, 10 - août 2014 : mise en orbite autour de la comète, 11 - novembre 2014 : atterrissage de Philae à la surface de la comète, 12 - 31 décembre 2015 : fin de la mission.

Atterrissage et fin de mission (2014-2015) [modifier le code]

Déroulement des opérations en orbite

Date	Description
6 août 2014	Insertion sur une pseudo orbite (100 km)
Août-septembre 2014	Étude du champ gravitationnel Recherche du site d'atterrissage
Septembre 2014	Insertion en orbite (30 km)
Novembre 2014	L'orbiteur abaisse son orbite L'atterrisseur se pose
13 août 2015	La comète passe au plus près du Soleil Pic d'activité de la comète
31 décembre 2015	Fin prévue de mission

L'atterrissage sur le sol de la comète est prévu le 11 novembre 2014 : la sonde se situe alors à près de 650 millions de kilomètres de la Terre et navigue à plus de 135 000 km/h. Le dégazage déclenché par la proximité du Soleil, qui pourrait compromettre la mission, devrait être à cette distance nul sinon réduit. Après sélection par l'équipe de contrôle au sol d'un des 5 sites, la sonde abaisse son orbite jusqu'à une altitude inférieure à 10 km puis largue l'atterrisseur *Philaé* qui se pose sur le sol de la comète avec une vitesse verticale d'environ 1 mètre par seconde. La précision de l'atterrissage devrait être d'une centaine de mètres. Philae s'ancre dans le sol car la gravité très faible n'est pas suffisante pour maintenir l'atterrisseur en place. Celui-ci effectue des photos à haute résolution et utilise ses instruments pour recueillir des données sur la composition de la croûte et de la glace de la comète. Notamment il fore le sol sur 20 cm de profondeur puis analyse les carottes obtenues avec un mini laboratoire. Les données recueillies sont transmises à l'aide du petit émetteur de l'atterrisseur (1 W) à l'orbiteur qui les relaie jusqu'au centre de contrôle à Terre en assurant éventuellement un stockage provisoire pour attendre les moments favorables à une transmission. L'atterrisseur dispose de panneaux solaires (9 Watts) mais également de batteries électriques qui lui garantissent une durée de vie minimale de 5 jours si le Soleil était masqué par la poussière. Ce laps de temps devrait être suffisant pour que l'atterrisseur remplisse ses missions principales. Mais l'atterrisseur est conçu pour mener une mission de plusieurs mois si les conditions s'y prêtent[83, 80, 84].

L'orbiteur, de son côté, poursuit ses observations alors que la comète s'approche du Soleil et devient de plus en plus active : Rosetta peut ainsi étudier le processus d'intensification du phénomène de dégazage qui caractérise cette période particulière de la vie d'une comète. Après 18 mois passés en orbite autour de la comète, il est prévu que la mission de Rosetta s'achève en décembre 2015 alors que la comète s'éloigne de nouveau du Soleil. Une prolongation est possible si l'état de la sonde lui permet encore de fonctionner[80].

Rosetta et Philaé vont par la suite accompagner la comète jusqu'à sa désintégration ou sa collision avec un autre corps céleste, à une date qui se situe sans doute très loin dans le futur. Aussi, à la manière de la plaque des sondes Pioneer, un disque en nickel inaltérable a été fixé à l'extérieur de l'orbiteur sur lequel sont micro-gravés des textes

rédigés dans un millier de langues : ce disque fait partie du projet Rosetta de la fondation américaine Long Now Foundation dont l'objectif est de préserver la connaissance des langues menacées en créant des « pierres de Rosette » destinées à nos lointains descendants[85, 86].

Retombées scientifiques [modifier le code]

Comprendre la genèse du Système solaire [modifier le code]

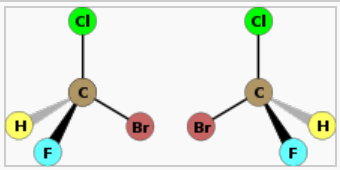
Articles détaillés : formation et évolution du Système solaire et nébuleuse solaire.

La nébuleuse en émission NGC 604, pouponnière d'étoiles.

Il y a 4,6 milliards d'années, le Système solaire était encore une nébuleuse protosolaire constituée principalement d'hydrogène, d'hélium, de glace et de silicates. La nébuleuse a commencé à se condenser par effondrement gravitationnel déclenché peut-être par l'explosion d'une supernova à proximité. Le cœur de la nébuleuse est devenu de plus en plus dense et les chocs entre particules se sont multipliés, transformant l'énergie cinétique en chaleur. Environ 100 000 ans après le début de ce processus, une proto-étoile chaude, l'amorce du Soleil, s'est formée : au voisinage du Soleil, seuls les éléments les plus lourds et les moins volatils de la nébuleuse ont subsisté formant les planètes telluriques denses telles que la Terre, tandis que les matériaux plus légers comme l'hélium et la glace formèrent à plus grande distance des planètes gazeuses géantes comme Jupiter. Dans cette dernière région, certaines des briques élémentaires ne se sont pas agrégées aux corps plus massifs et ont été repoussées par effet de fronde gravitationnelle par la planète géante Jupiter jusqu'à la frontière du Système solaire. Ces petits corps faits de glace et de roche se sont regroupés dans deux immenses régions : la ceinture de Kuiper située à une distance comprise entre 30 et 100 unités astronomiques du Soleil et le nuage d'Oort qui forme une coquille qui entoure le Système solaire entre 10 000 unités astronomiques et 1 année-lumière du Soleil. Depuis la naissance du Système solaire, la composition de ces objets est restée pratiquement inchangée : l'éloignement du Soleil maintient la température de leur noyau à des valeurs très basses (−270 °C) ce qui leur permet de conserver à l'état solide les molécules les plus volatiles tandis que la gravité très faible de ces objets de petite taille n'entraîne aucune transformation métamorphique. Ces deux régions constituent le réservoir des comètes observées. Celles-ci sont chassées du nuage d'Oort ou de la ceinture de Kuiper par le passage du Système solaire à proximité d'une étoile, d'un nuage galactique ou par la pression du disque galactique[87, 88, 89]. Compte tenu de leur origine, les comètes sont donc des vestiges de la nébuleuse protosolaire pratiquement intacts qui devraient nous permettre de mieux comprendre le processus de formation du Système solaire. Or celui-ci est encore mal connu et les théories en vigueur sont régulièrement remises en question par de nouvelles découvertes comme celle, récente, de systèmes solaires comportant des exoplanètes aux caractéristiques — masse, distance à l'étoile — incompatibles avec tous les mécanismes de formation envisagés jusque-là[90].

À la recherche de l'origine de la vie [modifier le code]

Article détaillé : origine de la vie.



Les deux énantiomères du bromochlorofluorométhane.

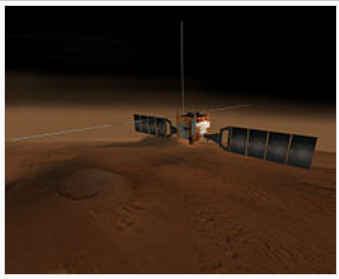
Durant les 500 premiers millions d'années du Système solaire, de nombreux corps célestes venus des régions périphériques et attirés par la gravité du Soleil se sont écrasés sur les planètes telluriques situées sur leur trajectoire. Les collisions entre comètes et planètes apportaient de l'eau mais également sans doute des composés organiques qui ont contribué à l'apparition de l'atmosphère primitive et peut-être même à celle de la vie. Les composés les plus complexes des comètes ne peuvent être détectés à distance car ils sont détruits dès qu'ils sont libérés par la comète. Seule une mission in situ, comme l'a démontré notamment la sonde Giotto, permet de les identifier et d'affiner ce scénario d'origine de la vie[90, 89].

De nombreuses molécules sont dites *chirales*, c'est-à-dire qu'elles existent sous deux formes énantiomères (dextrogyre et lévogyre) égales, en quelque sorte, à leur image dans un miroir. Les acides aminés, présents dans la vie telle qu'elle est connue actuellement, sont chiraux ; cependant elle n'utilise qu'une seule forme (lévogyre) : elle est dite *homochirale*. Aussi, la découverte de molécules qui, en plus d'être d'intérêt biologique, sont homochirales, pourrait indiquer la présence de vie. Une question que se posent aujourd'hui les biologistes est « pourquoi la vie a-t-elle choisi la forme lévogyre plutôt que dextrogyre », d'autant plus que l'expérience de Miller (synthèse d'acides aminés censée reproduire l'atmosphère primitive terrestre) donne un mélange contenant autant de molécules lévogyres que dextrogyres. Dans la météorite de Murchison, découverte en 1969 en Australie, un énantiomère est 15 % plus abondant que l'autre, ce qui semble montrer que l'homochiralité de la vie a été favorisée par une surabondance de lévogyres provenant de météorites.

L'atterrisseur *Philaé* étudiera les échantillons récoltés et permettra peut-être de comprendre l'origine de l'homochiralité du vivant[91].

Réutilisation des composants développés pour Rosetta [modifier le code]

Plusieurs composants, développés pour *Rosetta*, ont été repris sur *Mars Express*, lancée en juin 2003 vers Mars. C'est le cas de l'ordinateur de bord, des transpondeurs, de l'antenne faible gain, des gyroscopes lasers, des accéléromètres des centrales de navigation inertielle et de l'articulation des panneaux solaires. Ces éléments représentent 80 % de la sonde[92]. Afin de réduire le coût de 4 autres missions, la plate-forme de *Rosetta* a été également réutilisée sur *Venus Express*, lancée vers Vénus en avril 2006, sur *Mars Express*, sur *BepiColombo*, qui devrait être lancée en août 2015 à destination de Mercure, et sur *Solar Orbiter*, sonde destinée à l'étude du Soleil[93].



La sonde *Mars Express* en orbite autour de Mars (vue d'artiste).

Notes et références [modifier le code]

Notes [modifier le code]

1. ↑ Il s'agit de l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche, la Finlande, la France, la Hongrie, l'Irlande et l'Italie.
2. ↑ Elle fut notamment utilisée pendant les deux jours précédant le survol de (2867) Šteins.
3. ↑ Selon Arianespace, la vitesse maximale du vent acceptée se trouve entre 7,5 m/s et 9,5 m/s.
4. ↑ A proximité de la comète, Rosetta se trouve à la fois sous l'influence gravitationnelle du Soleil et de la comète. La mise en orbite devient possible lorsque la distance par rapport à la comète est suffisamment réduite pour que son champ gravitationnel l'emporte. Cette distance dépend du rapport entre la masse du Soleil et de la comète ainsi que de la distance du Soleil. La région de l'espace où la gravité de l'objet local l'emporte, dite sphère de Hill, a un rayon de 30 km pour la comète contre, par exemple, 1,5 millions km autour de la Terre

Références [modifier le code]

1. ↑ [PDF] (en) « Rosetta » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), Agence spatiale européenne, sur *http://esapub.esrin.esa.it* . Consulté le 18 mai 2010
2. ↑ « Rosetta » , sur *http://www.cite-sciences.fr/* , 30 novembre 2009 (consulté le 18 mai 2010)
3. ↑ (en) « No bugs please, this is a clean planet! » , octobre juillet (consulté le 18 mai 2010)
4. ↑ a et b « L'atterrisseur de Rosetta, s'appellera Philae » , sur *http://www.futura-sciences.com/* , février 2004 (consulté le 3 mai 2010)
5. ↑ Sébastien Rouquette, *Cahier de l'espace n°2 : Comètes : un rêve plus loin ! De Rosetta à nos origines*, CNES, janvier 2004, 24 p. (lire en ligne)
6. ↑ (en) « Giotto overview » , ESA, 21 avril 2004 (consulté le 18 mai 2010)
7. ↑ (en) William E. Lamie, « Case study: NASA's "Deep Impact" employs embedded systems to score bullseye 80 million miles away » , Military Embedded Systems (consulté le 18 mai 2010)
8. ↑ a et b (en) « Rosetta » , ESA (consulté le 15 mai 2010)
9. ↑ (en) « Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko Facts » , sur *http://theskylive.com* (consulté le 21 janvier 2014)
10. ↑ Y Brouet, A.C. Levasseur-Regourd, A.C. Encrenaz et S. Gulkis, « Mesures de la permittivité relative complexe de matériaux granulaires poreux, dans le cadre de la mission Rosetta », *URSI-France*, mars 2013, p. 18-27 (ISSN 0376-4265, lire en ligne)
11. ↑ (en) « 67P/Churyumov-Gerasimenko » , ESA, 8 juin 2007 (consulté le 18 mai 2010)
12. ↑ (en) « JPL Small-Body Database Browser : 67P/Churyumov-Gerasimenko » , sur *http://ssd.jpl.nasa.gov/* (consulté le 4 mai 2010)
13. ↑ (en) « JPL Small-Body Database Browser : 2867 Steins (1969 VC) » , sur *http://ssd.jpl.nasa.gov/* (consulté le 3 mai 2010)
14. ↑ (en) « JPL Small-Body Database Browser : 21 Lutetia » , sur *http://ssd.jpl.nasa.gov* (consulté le 4 mai 2010)
15. ↑ « Spécial Alcatel Alenia Space » , sur *http://www.flashespace.com/* , Flashespace, 23 juillet 2005 (consulté le 18 mai 2010) : « Alcatel Space est devenu depuis le 1er juillet 2005 Alcatel Alenia Space. Il s'agit en fait d'un rapprochement décidé par Alcatel et Finmeccanica (Italie) de leur filiale Alcatel Alenia Space et d'Alenia Spazio. »
16. ↑ (en) « The Rosetta orbiter » , sur *http://www.esa.int/* , 1er novembre 2004 (consulté le 15 novembre 2009)
17. ↑ (en) Karl-Heinz Glassmeier, Hermann Boehnhardt, Detlee Koschny, Ekkehard Kührt et Ingo Richter, « The Rosetta mission: flying towards the origin of the solar system », *Space Science Reviews*, nº 128, 12 décembre 2006, p. 21 (lire en ligne)
18. ↑ (en) « Rosetta » , sur *http://nssdc.gsfc.nasa.gov* (consulté le 7 mars 2013)
19. ↑ (en) « Long-distance communication » , sur *http://www.esa.int/* , novembre 2004 (consulté le 4 mai 2010)
20. ↑ a et b « Rosetta » (consulté le 27 avril 2010)
21. ↑ « Rosetta Europe's Comet Chaser » (consulté le 14 mai 2010)
22. ↑ (en) « New Louvers ensure that Rosetta is real cool » , sur *http://planck.esa.int/* , mars 2000 (consulté le 18 mai 2010)
23. ↑ (en) p. 25 Claude Berner *et al.*, « Why *Rosetta*? » [PDF], sur *http://www.esa.int/* , Agence spatiale européenne, esa bulletin 112 - november 2002 (consulté le 18 mai 2010)
24. ↑ (en) « Alice » , sur *http://www.esa.int/* , Agence spatiale européenne, janvier 2004 (consulté le 24 novembre 2009)
25. ↑ (en) « Instrument Information : Alice » , sur *http://starbrite.jpl.nasa.gov* , NASA (consulté le 24 novembre 2009)
26. ↑ (en) ESA - Rosetta - CONCERT
27. ↑ (en) « CONSERT »
28. ↑ (en) « GIADA »
29. ↑ (en) « MIDAS »
30. ↑ (en) « MIRO »
31. ↑ (en) « OSIRIS »
32. ↑ (en) « ROSINA »
33. ↑ (en) « RPC »
34. ↑ (en) « RSI: Radio Science Investigation » (consulté le 2 mai 2010)
35. ↑ (en) « VIRTIS »
36. ↑ « L'atterrisseur Philaé » , sur *http://www.clg-camus-bois-colombes.ac-versailles.fr* (consulté le 3 mai 2010)
37. ↑ Denis Moura, « Publications : actes des séminaires et universités d'été Rosetta, vers la connaissance des petits objets du Système solaire » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), 30. Consulté le 2 mai 2010

38. ↑ Denis Moura, « L'art de se poser sur une comète », CNRS, 18 septembre 2009
39. ↑ Sébastien Rouquette, *Cahier de l'espace n°2 : Comètes : un rêve plus loin ! De Rosetta à nos origines*, CNES, janvier 2004, 24 p. (lire en ligne), p. 21
40. ↑ « Participations scientifiques à la charge utile de l'atterrisseur ROSETTA », CNES (consulté le 13 mai 2010)
41. ↑ « Rosetta : 7 mini-caméras franco-suisses lorgnent la terre ce 13 novembre », sur *http://www.esa.int*, octobre 2007 (consulté le 3 mai 2010)
42. ↑ (en) « New Norcia - DSA 1 », sur *http://www.esa.int* (consulté le 25 avril 2010)
43. ↑ « Quand Rosetta rencontre Sowa et Otawara... », sur *http://www.cnrs.fr/*, mars 2000 (consulté le 15 novembre 2009)
44. ↑ (fr) Matthieu Durand, Ariane prive la sonde Rosetta de sa comète, LCI, 15 janvier 2003. Consulté le 18 mai 2010.
45. ↑ a et b « Evenements Atterrisseur ROSETTA », CNES, 26 avril 2010 (consulté le 13 mai 2010)
46. ↑ Agence Science-Presse, "Une comète européenne", 26 février 2004. Consulté le 18 mai 2010.
47. ↑ (en) « Launch Information » (consulté le 2 mai 2010)
48. ↑ (fr) « Deux survols d'astéroïdes au programme de Rosetta », sur *http://www.esa.int/*, mars 2004 (consulté le 18 mai 2010)
49. ↑ (en) ESA, « Rosetta Earth Swingby media presentation 13.11.2009 », 13 novembre 2009, p. 18
50. ↑ (en) ESA, « Rosetta Earth swing-by two: Questions and Answers », 9 novembre 2007
51. ↑ Stéphane Fay, « Rosetta, la sonde qui nargue la gravité », *Ciel et espace*, nº 479, avril 2010, p. 53 (ISSN 0373-9139)
52. ↑ « http://www.sciencedaily.com/releases/2007/02/070215144113.htm », 16 février 2007 (consulté le 12 novembre 2013)
53. ↑ (en) « Rosetta Mars Swing-by », sur *http://sci.esa.int*, février 2007 (consulté le 5 mai 2010)
54. ↑ « En bref : 2007 VN84, un astéroïde très humain ! », sur *http://www.futura-sciences.com/*, novembre 2007 (consulté le 5 mai 2010)
55. ↑ « Rosetta révèle la nature de l'astéroïde Steins », 13 janvier 2010
56. ↑ (en) Sylvain Lodiot, Andrea Accomazzo, Mathias Lauer, Trevor Morley et Paolo Ferri, « The first European asteroid "flyby" », *ESA bulletin*, nº 137, février 2009, p. 68–74 (ISSN 0376-4265, lire en ligne)
57. ↑ (en) Daniel Scuka, « Timings for today's trajectory correction manoeuvre » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), octobre 2009, sur *http://webservices.esa.int/blog/blog/5*. Mis en ligne le 22 octobre 2009, consulté le 10 novembre 2009
58. ↑ (en) « Rosetta bound for outer Solar System after final Earth swingby », sur *www.esa.int/*, novembre 2009 (consulté le 18 mai 2010)
59. ↑ (en) Daniel Scuka, « Mystery remains: Rosetta fails to observe swingby anomaly » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), 23, sur *http://webservices.esa.int/blog/blog/5*. Consulté le 25 avril 2010. « For Rosetta's third and final Earth swingby, there was no anomaly. »
60. ↑ a et b (en) « Rosetta No. 124 - Successful Earth swingby », ESA, 18 novembre 2009 (consulté le 13 mail 2010)
61. ↑ (en) « Status Report : No. 125 - Earth swingby clean-up manoeuvre », sur *http://sci.esa.int/*, 2 décembre 2009 (consulté le 18 mai 2010)
62. ↑ Colin Snodgrass, Cecilia Tubiana, Jean-Baptiste Vincent, Holger Sierks, Stubbe Hviid, Richard Moissl, Hermann Boehnhardt, Cesare Barbieri et Detlef Koschny, « A collision in 2009 as the origin of the debris trail of asteroid P/2010 A2 », *Nature*, vol. 467, nº 7317, 2010, p. 814–6 (PMID 20944742, DOI 10.1038/nature09453)
63. ↑ (en) Daniel Scuka, « Rosetta thruster burn to align probe with asteroid target » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?). Mis en ligne le 17 juin 2010, consulté le 28 juin 2010
64. ↑ (en) « No. 135 - Payload check-out 12 », sur *sci.esa.int/*, mai 2010 (consulté le 18 mai 2010)
65. ↑ (en) « EVENEMENTS DE L'ATTERRISSEUR ROSETTA », sur *CNES*, 2010
66. ↑ (en) « Rosetta triumphs at asteroid Lutetia », sur *ESA*, 10 juillet 2010
67. ↑ « Rosetta comet probe enters hibernation in deep space », sur *www.esa.int*, Agence spatiale européenne, 8 juin 2013 (consulté le 11 novembre 2013)
68. ↑ (en) Paolo Ferri, Andrea Accomazzo, Sylvain Lodiot, Armelle Hubault, Roberto Porta et Josè-Luis Pellon-Bailon, *Preparing the Rosetta deep-space operations*, 2009, 8 p.
69. ↑ (en) « Rosetta: 100 days to wake-up », sur *http://www.esa.int*, 11 octobre 2013 (consulté le 11 novembre 2013)
70. ↑ (en) « How Rosetta wakes up from deep space hibernation », ESA, 6 janvier 2014 (consulté le 6 janvier 2014)
71. ↑ (en) ESA's 'sleeping beauty' wakes up from deep space hibernation sur le site de l'ESA. Consulté le 20 janvier 2014.
72. ↑ (en) « Evénements de l'atterrisseur Rosetta », CNES Missions scientifiques, 12 juin 2014
73. ↑ (en) Daniel, « Thruster burn kicks off crucial series of manoeuvres », sur *ESA Rosetta Blog*, 7 mai 2014
74. ↑ (en) Emily Lakdawalla, « Rosetta update: Both "big burns" completed successfully », sur *Planetary society*, 10 juin 2014
75. ↑ (en) Emily, « The dual personality of comet 67P/C-G », sur *ESA Rosetta Blog*, 17 juillet 2014
76. ↑ « Rosetta photographie la chevelure de sa comète », sur *Missions scientifiques du CNES*, 1 août 2014
77. ↑ (en) Daniel, « What's happening in Rosetta mission control today », sur *ESA Rosetta Blog*, 4 aout 2014
78. ↑ a et b http://www.cieletespace.fr/node/12220
79. ↑ (en) Emily, « Updated comet shape model », sur *ESA Rosetta Blog*, 28 juillet 2014
80. ↑ a, b et c (en) « Comet rendezvous », ESA, 22 octobre 2004 (consulté le 13 mai 2010)
81. ↑ Sébastien Rouquette, *Cahier de l'espace n°2 : Comètes : un rêve plus loin ! De Rosetta à nos origines*, CNES, janvier 2004, 24 p. (lire en ligne), p. 21
82. ↑ « Le 6 août, Rosetta commencera sa mise en orbite autour de 67P », sur *Missions scientifiques du CNES*, 4 août 2014
83. ↑ « FAQ Rosetta », CNES (consulté le 13 mai 2010)
84. ↑ « La sonde Rosetta en route vers la comète Tchourioumov-Guerassimenko », sur *http://www.lesia.obspm.fr/*, Lesia (consulté le 14 novembre 2009)
85. ↑ (en) « The Rosetta project : disc », The Long Now Foundation, 21 juillet 2010
86. ↑ (en) « Rosetta disk goes back to the future », ESA, décembre 2002
87. ↑ « Les comètes », CNRS (consulté le 14 mai 2010)
88. ↑ « Le nuage d'Oort », Astropolis (consulté le 14 mai 2010)
89. ↑ a et b « Qu'est-ce qu'une comète ? » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), CNRS Observatoire de Besançon, 16 avril 2004
90. ↑ a et b Sébastien Rouquette, *Cahier de l'espace n°2 : Comètes : un rêve plus loin ! De Rosetta à nos origines*, CNES, janvier 2004, 24 p. (lire en ligne)
91. ↑ David Fossé, « Pour trouver le vivant, cherchons l'homochiralité », *Ciel et espace*, nº 475, décembre 2009, p. 47 (ISSN 0373-9139)
92. ↑ Philippe Labrot, « Mars Express », sur *http://www.nirgal.net/*, février 2004 (consulté le 11 novembre 2009)
93. ↑ « Rosetta, en route vers Churyumov-Gerasimenko », sur *http://jcboulay.free.fr/* (consulté le 22 novembre 2009)

Bibliographie [modifier le code]

: document utilisé comme source pour la rédaction de cet article.

- Sébastien Rouquette, *Cahier de l'espace n°2 : Comètes : un rêve plus loin ! De Rosetta à nos origines*, CNES, janvier 2004, 24 p. (lire en ligne)
- (en) Rita Schulz, Claudia J. Alexander, Hermann Boehnhardt et Karl-Heinz Glassmeier, *Rosetta : ESA's Mission to the origin of the solar system*, Springer-Verlag New York, novembre 2008, 785 p. (ISBN 038777517X)
- (en) Luigi Colangeli, Elena Mazotta Epifani et Pasquale Palumbo, *The new Rosetta targets : Observations, Simulations, and Instrument Performances*, Springer-Verlag New York, octobre 2004, 315 p. (ISBN 1402025726)
- (en) Andrea Accomazzo, Sylvain Lodiot, Paolo Ferri, Armelle Hubault, Roberto Porta et Josè-Luis Pellon-Bailon, « The first Rosetta asteroïd flyby », *Acta Astronautica*, n° 66, 28 juillet 2009, p. 382 (ISSN 0094-5765, lire en ligne)
- (en) Fred Jansen, Matt Taylor, Andrea Accomazzo et Emily Baldwin, « Waking Rosetta », *ESA Bulletin*, n° 156, novembre 2013, p. 18-27 (ISSN 0376-4265, lire en ligne)

Voir aussi [modifier le code]

Articles connexes [modifier le code]

- Mission Deep Impact, une autre mission de sonde spatiale qui a pour objectif d'étudier la composition d'une comète
- Hayabusa, sonde japonaise chargée d'étudier un astéroïde

Sur les autres projets Wikimedia :

Rosetta (sonde spatiale), sur Wikimedia Commons

= Liens externes [modifier le code]

- (en) « Site officiel (Agence spatiale européenne) »
- « Page dédiée sur le site scientifique du CNES »
- « Dossier sur la sonde » , sur *http://www.futura-sciences.com* , Futura-sciences, 23 février 2004
- « Dossier sur la sonde » , sur *http://perso.wanadoo.fr/pgj*
- (en) « Blog officiel de la mission »
- (en) « Rosetta Science Operations »
- (en) « ESA Science & Technology : Rosetta » , sur *http://sci.esa.int/*

Écouter cet article
Première partie (info sur le fichier)
Désolé, soit votre navigateur a JavaScript désactivé, soit il ne dispose d'aucun lecteur pris en charge.
Vous pouvez télécharger le clip ou télécharger un lecteur pour lire le clip dans votre navigateur.
Deuxième partie (info sur le fichier)
Désolé, soit votre navigateur a JavaScript désactivé, soit il ne dispose d'aucun lecteur pris en charge.
Vous pouvez télécharger le clip ou télécharger un lecteur pour lire le clip dans votre navigateur.
Ces fichiers audios ont été réalisés à partir de la version du 2 mai 2010, et ne reflètent pas les changements ayant eu lieu depuis. (Aide pour les sons)
→ **D'autres articles audio**

v · d · m	Missions spatiales vers des objets mineurs (astéroïdes, comètes)
Survols	Giotto (1985) · Sakigake (1985) · Suisei (1985) · Galileo (1989) · NEAR Shoemaker (1996) · *Cassini* (1997) · Deep Space 1 (1998) · *Stardust* (1999) · Deep Impact / EPOXI (2004) · ***Rosetta*** (2004) · *New Horizons* (2006)
Orbiteurs	NEAR Shoemaker (1996) · Dawn (2007)
Atterrisseurs	NEAR Shoemaker (1996)
Retour d'échantillon	Hayabusa (2003) · Phobos-Grunt[1] (2011) · Hayabusa 2 (2014) · OSIRIS-REx (2016)
Projets à l'étude	MarcoPolo-R (2022) · Don Quichote · Comet Surface Sample Return
Projets abandonnés	Comet RendezVous/Asteroid Flyby (1997) · Vesta
[1] Missions ayant échoué. Les dates indiquées sont celles de lancement.	

v · d · m	Agence spatiale européenne	
Lanceurs	Ariane 1 · Ariane 2 · Ariane 3 · Ariane 4 · Ariane 5 · *Ariane 6* · Vega · Liste des vols	
Science	**Exploration du Système solaire**	Giotto (1985) · Huygens (1997) · Mars Express (2003) · SMART-1 (2003) · **Rosetta** (2004) · Venus Express (2005) · BepiColombo (2015) · ExoMars Trace Gas Orbiter (2016) · ExoMars EDM (2016) · Rover ExoMars (2018) · JUICE (2022)
	Étude du Soleil	ISEE 2 (1977) · Ulysses (1990) · Cluster (2000) · SOHO (1995) (avec Nasa) · Solar Orbiter (2017)
	Astronomie	COS-B (1975) · IUE (1978) · EXOSAT (1983) · Hipparcos (1989) · Hubble (1990) (avec Nasa) · Eureca (1992) · ISO (1995) · XMM-Newton (1999) · Integral (2002) · Planck (2009) · Herschel (2009) ·

		Gaia (2013) · CHEOPS (2017) · Euclid (2020) · PLATO (2024)
Observation terrestre	Collecte de données	Météosat 1 (1977-1997) · ERS 1 et 2 (1991, 1995) · Météosat 2 (2002-2013) · Envisat (2002) · MetOp-A (2006) · Sentinelle (2014-)
	Recherche	Double Star (2003) (avec Chine) · CryoSat (2005) · GOCE (2009) · SMOS (2009) · CryoSat-2 (2010) · SWARM (2013) · ADM-Aeolus (2015) · EarthCARE (2015) · Biomass (2020)
Programme spatial habité		ATV (2009-) · Crew Space Transportation System · Advanced Re-entry Vehicle · Columbus (2008) · Cupola (2010) · ERA (2014)
Télécommunications et technologie		OTS 1 et 2 (1977, 1978) · Olympus-1 (1989) · Artemis (2001) (avec le Japon) · PROBA-1 (2001) · SSETI Express (2005) · Galileo · PROBA-2 (2009) · HYLAS (2010) · European Data Relay Satellite (2012) · PROBA-V (2013) · LISA Pathfinder (2015) · PROBA-3 (2015)
Principales participations		Suzaku (2005) (Japon) · CoRoT (France) (2006-2014) · Hinode (Japon) (2006) · Akari (2006) (Japon) · Chang'e 1 (Chine) (2007) · Chandrayaan-1 (Inde) (2008) · Microscope (France) (2016) · JWST (2017) (NASA)
À l'étude		ATHENA (ex IXO) (2020) · NGO (ex LISA) (2024)
Projets abandonnés		Hermès · STE-QUEST · TSSM · NetLander · Jupiter Ganymede Orbiter · Beagle 3 · Darwin · EChO · LOFT · MarcoPolo-R
Installations au sol		Base de lancement de Kourou · Centre européen d'opérations spatiales · Centre européen de technologie spatiale · Institut européen de recherches spatiales · Centre des astronautes européens · Centre d'astronomie spatiale européen · Esrange · Institut européen de Politique Spatiale · European Space Tracking
Programmes		Horizon 2000 · Programme Aurora · Cosmic Vision · Programme Living Planet · GMES · Programme Orfeo · ARTES
Articles liés		Arianespace · EUMETSAT · ESRO · CNES · Communauté des villes Ariane
Catégorie:Agence spatiale européenne		

v · d · m	Sondes spatiales martiennes
Survols	Mars 1[1] (1962) · Zond 2[1] (1964) · Mariner 4 (1964) · Mariner 6 (1966) · Mariner 7 (1969) · Mars 4 (1973) · **Rosetta** (2004) · Dawn (2007)
Orbiteurs	Mariner 9 (1971) · Mars 2 (1971) · Mars 3 (1971) · Mars 5 (1973) · Mars 6 (1971) · Programme Viking (1 et 2) (1976) · Programme Phobos (1[1] et 2) (1988) · Mars Observer[1] (1992) · Mars Global Surveyor (1996) · Nozomi[1] (1998) · Mars Climate Orbiter[1] (1999) · 2001 Mars Odyssey (2001) · Mars Express (2003) · Mars Reconnaissance Orbiter (2005) · MAVEN (2013) · Mars Orbiter Mission (2013)
Atterrisseurs – Rovers	Mars 3 (1971) · Mars 6[1] (1973) · Mars 7[1] (1973) · Programme Viking (1 et 2) (1975) · Mars Pathfinder (1996) · Mars Polar Lander[1] (1999) · Deep Space 2[1] (1999) · Beagle 2[1] (2003) · Mars Exploration Rover (Spirit et Opportunity) (2003) · Phoenix (2007) · Mars Science Laboratory (2011)
Missions planifiées	InSight (2016) · ExoMars Trace Gas Orbiter (2016) · ExoMars EDM (2016) · Rover ExoMars (2018) · Mars 2020 (2020)
Missions proposées	Mars Astrobiology Explorer-Cacher (2018) · Mars Sample Return (2025+) · MetNet
Échecs au lancement	Programme Marsnik (1960) · Spoutnik 22 (1962) · Spoutnik 24 (1962) · Mariner 3 (1964) · Mars 1969A (1969) · Mars 1969B (1969) · Mariner 8 (1971) · Cosmos 419 (1971) · Mars 96 (1996) · Phobos-Grunt & Yinghuo 1 (2011)
Projets annulés	Astrobiology Field Laboratory · Beagle 3 · Marsokhod (Mars 4NM) · Mars Surveyor 2001 / Mars Surveyor Lander 2001 · Mars Sample Return (Mars 5NM) · Mars Telecommunications Orbiter · NetLander · Northern Light · Programme Voyager Mars
Voir aussi	Mars · Exploration de Mars · Mission habitée vers Mars · Colonisation de Mars · Programme Mars Scout · Liste des sondes spatiales
[1] Missions ayant échoué. Les dates indiquées sont celles de lancement.	

Cet article est reconnu comme « bon article » depuis sa version du 21 mai 2010 (comparer avec la version actuelle).

Pour toute information complémentaire, consulter sa page de discussion et le vote l'ayant promu.

Portail de l'astronomie **Portail de l'astronautique**

Catégories : Exploration des objets mineurs | Sonde spatiale | Horizon 2000 | Exploration de l'espace en 2014 | Exploration de l'espace en 2004

Dernière modification de cette page le 6 août 2014 à 18:16.

Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons paternité partage à l'identique ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.
Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.

Politique de confidentialité À propos de Wikipédia Avertissements Développeurs Version mobile